

AÑO 5 - NÚMERO 12
MAYO 2021

NUESTRA GALAXIA

¿Y LA MATERIA OSCURA?

ONDAS GRAVITACIONALES

GALAXIAS Y EL UNIVERSO A BAJO BRILLO









IMAGEN: NGC 4038 & 4039 NASA-HST

SUMARIO

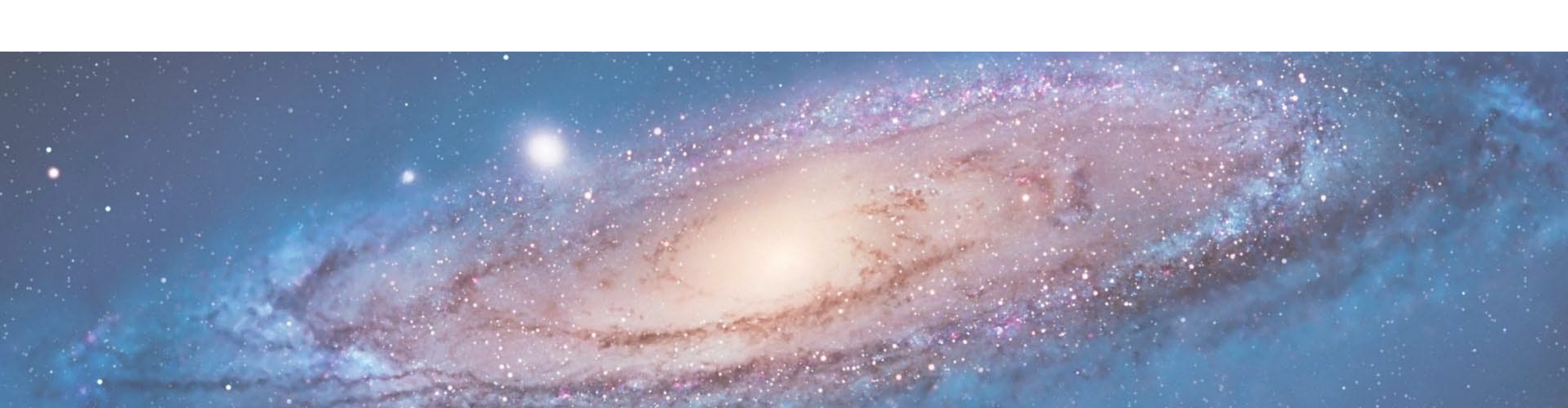
REVISTA DE DIVULGACIÓN ASTRONÓMICA

12

Sidus, revista de divulgación de astronomía y astrofísica, es una publicación semestral editada en el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, Av. Ignacio L. Vallarta 2602, Col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jalisco, México, C.P. 44130, Tel. 33 3615 9829, www. iam.cucei.udg.mx.

Responsable: Gerardo Ramos Larios. **Editores:** Gabriel Marcelo Rubio Gónzalez, Edgar Iván Santamaría Domínguez. **Diseño y Maquetación:** Edgar Iván Santamaría Domínguez.

Contacto: revistasidus@gmail.com



¿Y LA MATERIA OSCURA?

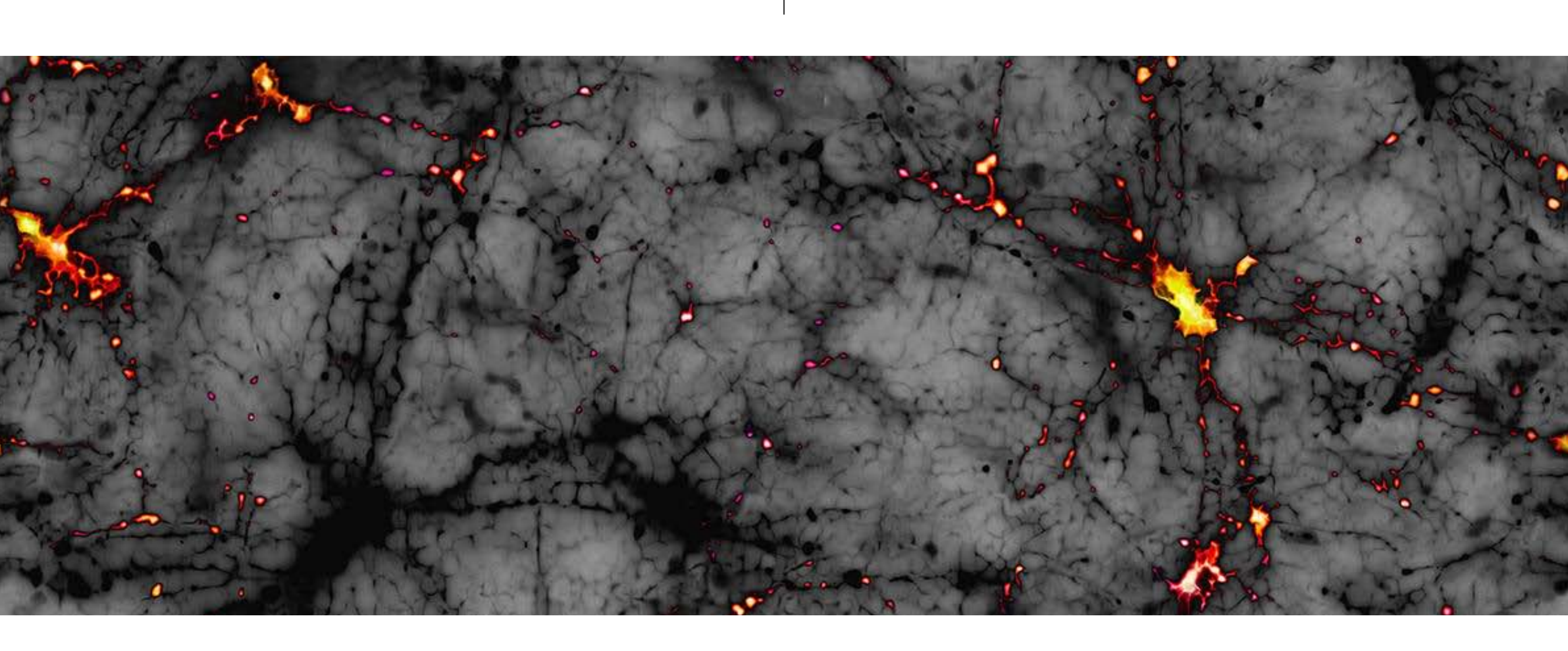
DR. ALBERTO NIGOCHE / CUCEI-UDG

Hace aproximadamente 80 años, en un estudio pionero del eminente astrónomo búlgaro Fritz Zwicky en torno a la materia que constituye a unos objetos fascinantes denominados galaxias, surgió una idea aún más fascinante: "la materia oscura". Desde entonces científicos de distintas disciplinas han estado intentando responder muchas preguntas en torno a su existencia (o no existencia). En este breve recuento se enlistan algunas de las preguntas más interesantes en torno a la materia oscura y se describe de manera sencilla lo que hasta el momento se ha encontrado.

¿EXISTE LA MATERIA OSCURA?

En el mencionado estudio de Zwicky (1933) se encontró, mediante la teoría física del movimiento, que la materia dentro de cúmulos de galaxias era mucho mayor que la que se podía medir directamente de la luz que emiten dichas galaxias.

A dicho exceso de materia se le denominó materia oscura. Esta denominación resultó muy apropiada puesto que esa materia parece estar permeando el espacio intergaláctico en grandes cantidades pero no emite luz, de manera que no podemos observarla mediante nuestros ojos e instrumentos astronómicos. También podría ocurrir que nuestra teoría física del Universo no sea apropiada por lo que la materia oscura sería un mero artefacto, una invención desmesurada de una mala interpretación de las leyes que rigen al Universo.



Impresión artística de los filamentos y halos (en amarillo) de materia oscura alrededor de los cuales se formaron las grandes estructuras del Universo (galaxias, cúmulos, etc.).

¿QUÉ EVIDENCIAS HAY ENTORNO A LA EXISTENCIA DE LA MATERIA OSCURA?

Para entender las evidencias en favor de la existencia de la materia oscura se deben describir primero algunas cuestiones básicas de la teoría física actual. Una rama de esta teoría física, denominada Mecánica Clásica nos dice, de manera simplista, que el movimiento de cuerpos en interacción gravitacional está íntimamente relacionado con la masa de dichos cuerpos. Y justamente Zwicky (1933), por primera vez en la historia, encontró que el movimiento de las galaxias en interacción gravitacional dentro de grandes cúmulos no correspondía con la masa que se podía medir directamente de la luz que emitían dichas galaxias. Esta discrepancia entre la masa gravitacional y la masa luminosa u ordinaria es la mayor evidencia que sustenta al concepto de la materia oscura.

Desde el estudio pionero de Zwicky y hasta el presente ha habido una gran cantidad de estudios en torno a la presencia, cantidad, distribución y constituyentes de la materia oscura. A continuación se proporciona un poco de información al respecto.

¿QUÉ ES LA MATERIA OSCURA?

Los físicos de partículas son los científicos que intentan responder esta pregunta. Sus estudios se centran en encontrar partículas con masas pequeñísimas (partículas subatómicas), que no emitan luz pero que si interaccionen gravitacionalmente con la masa ordinaria. Sus herramientas para encontrar la materia oscura hacen uso de las teorías físicas actuales para predecir las características de las mencionadas partículas. También hacen uso de grandes laboratorios donde mediante experimentos buscan esas partículas y ponen a prueba las teorías de la estructura del Universo a pequeña escala. Hasta el momento no se han encontrado partículas que cumplan los requerimientos que la materia oscura exige.

¿DÓNDE ESTÁ LA MATERIA OSCURA?

Los estudios actuales muestran que la materia oscura solamente se encuentra en grandes escalas dentro de las galaxias, en su entorno y en el medio intergaláctico. No hay evidencias de que haya materia oscura dentro ni en los alrededores de las estrellas y tampoco en el medio interestelar. Tampoco hay evidencias de presencia de materia oscura en escalas planetarias ni en escalas subatómicas.

¿QUÉ CANTIDAD DE MATERIA OSCURA HAY EN EL UNIVERSO?

Los análisis más recientes, de la mano de las teorías físicas actuales, predicen que el Universo está compuesto de un 72% de energía oscura, 23% de materia oscura y un 5% de materia ordinaria. La energía oscura es otro componente totalmente desconocido del Universo lo cual amerita un análisis y discusión tanto o más intrigante que el de la materia oscura.



Esta imagen del Telescopio Espacial Hubble muestra un "anillo" de materia oscura en el cúmulo de galaxias Cl 0024+17.



Imagen de un cúmulo de galaxias tomada por el telescopio espacial Hubble. La materia oscura estaría dentro y en los alrededores de las galaxias y permeando el espacio intergaláctico.

¿CÓMO SE DISTRIBUYE LA MATERIA OSCURA?

Existe una dificultad extrema para el análisis de la distribución de la materia oscura en grandes escalas. Nuestros instrumentos y tecnología actual aún no son los suficientemente potentes para proporcionar resultados precisos. A pesar de estas limitaciones, los análisis emanados de la astrofísica extragaláctica apuntan a que la materia oscura parece depender de la distancia al centro de las galaxias; a mayor distancia mayor materia oscura. En el medio intergaláctico la cantidad de materia oscura parece ser considerablemente superior a la materia ordinaria y su distribución parece ser uniforme.

¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE LA MATERIA OSCURA?

Si encontráramos que la materia oscura no existe, tendríamos que reescribir y reformular las actuales teorías físicas del Universo. Por el contrario, si encontráramos, con nuestras teorías actuales, que efectivamente dicha materia oscura existe y además conocer de qué está compuesta, cuánta es y cómo se distribuye, tendríamos las herramientas más poderosas para entender el origen y evolución del Universo. En ambos casos estaríamos frente a una revolución en el conocimiento humano.

NUESTRA GALAXIA

DR. ALEJANDRO MÁRQUEZ / CUCEI-UDG

En muchos sitios aún es común encontrarnos con una descripción gráfica de nuestra Galaxia como la que se aprecia en la imagen de la derecha, una galaxia espiral con un diámetro de unos 100 mil años luz, con un bulbo central más o menos esférico y unas 100 o 200 mil millones de estrellas. Esta descripción de la Vía Láctea es el producto de la astronomía de la primera mitad del siglo XX, antes de la existencia de los grandes telescopios terrestres y los telescopios espaciales, antes de la astronomía más allá del rango visible del espectro electromagnético y de los extensos mapeos realizados, algunos sólo del plano galáctico y otros de todo el cielo. Y como era de esperarse, todo ese avance en las técnicas observacionales terminó por revelarnos una Vía Láctea nueva.

En los últimos años la imagen que tenemos de nuestra Galaxia, la Vía Láctea, ha sufrido una gran cantidad de cambios, de los cuales veremos por el momento los más sobresalientes por sus implicaciones morfológicas a gran escala.

LA VÍA LÁCTEA ACTUALIZADA

Quizá el primero de los descubrimientos recientes que comenzó esta revolución en nuestra visión de la Vía Láctea fue el referente a la morfología de su centro. Actualmente se tienen evidencias muy sólidas de que el bulbo central de nuestra Galaxia más que esférico es alargado, como una barra, y desde los extremos de esta barra es que se despliegan los brazos espirales. Así pues, la Vía Láctea es una galaxia del tipo llamado espiral barrada, con unos brazos medianamente cerrados, lo que en términos técnicos se denomina como una galaxia de tipo SBb.

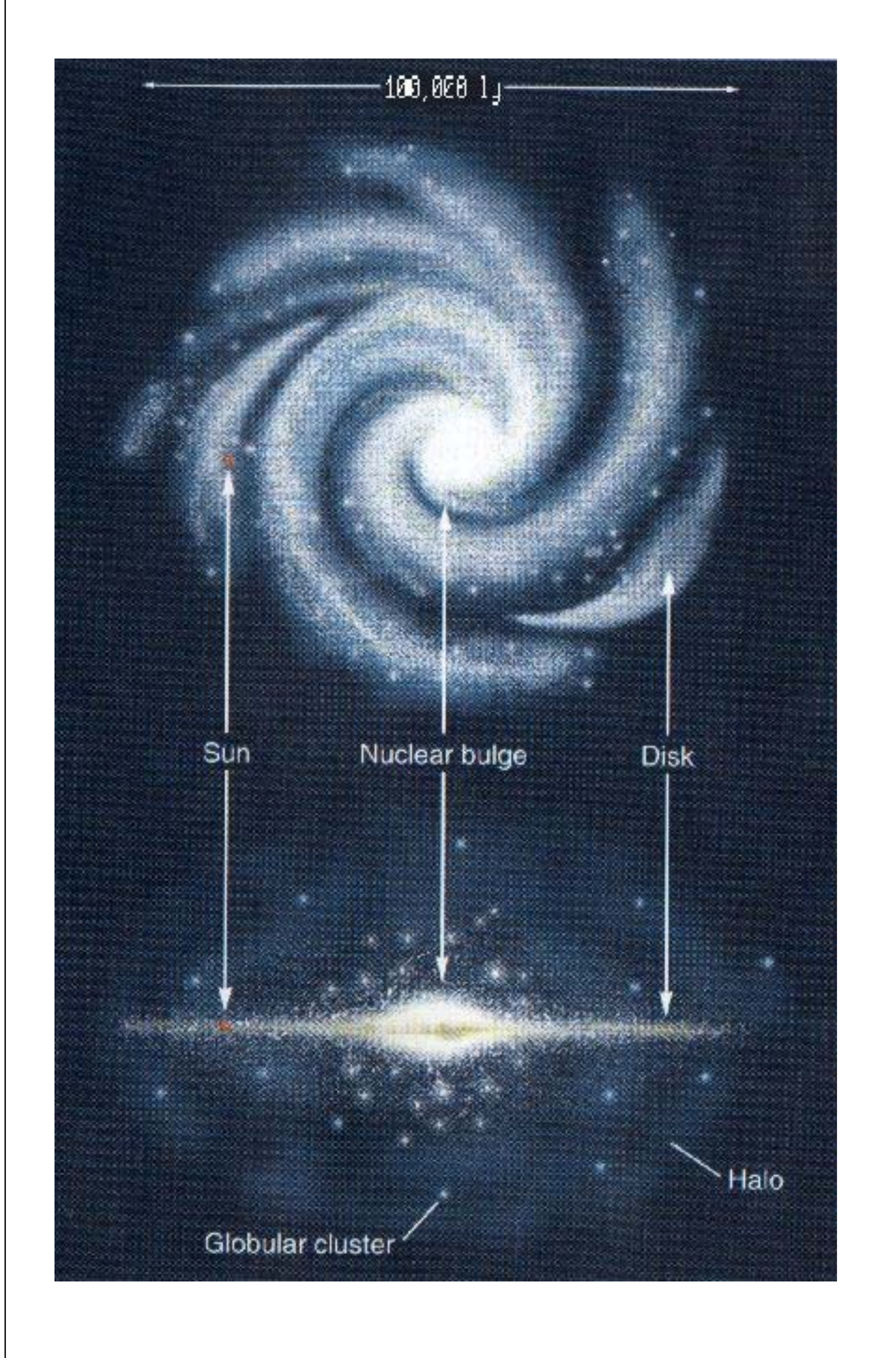


Imagen tradicional de la Vía Láctea.

La galaxia UGC 12158, que se encuentra a unos 140 mil años luz de nosotros en dirección de la constelación de Pegaso, nos da una imagen aproximada del aspecto que se cree tiene nuestra galaxia, tanto en su barra como en el grado de arrollamiento de sus brazos espirales.



Galaxia UGC 12158, con un aspecto general muy parecido al que se cree tiene la Vía Láctea.

Actualmente es sabido que prácticamente la totalidad de las grandes galaxias contienen en su núcleo un agujero negro súper masivo y la Vía Láctea no es una excepción. El agujero negro súper masivo del centro de nuestra Galaxia, llamado Sagitario A*, tiene una masa equivalente a 4.3 millones de veces la masa del Sol (4.3×10^{6} $M_{\odot}$). Esto es relativamente historia antigua, lo novedoso es que Sag A* no es un agujero negro tranquilo como se creía, sino que está acretando material circundante. Esta materia que interactúa con el disco de acreción en Sag A* se calienta y emite intensamente en rayos gama y X.

Esto aún sin conferirle a nuestra Galaxia un grado en el grupo de las galaxias con núcleo activo (AGNs), sí le permite tener un par de lóbulos que salen desde el núcleo en direcciones perpendiculares al disco galáctico, los cuales han sido detectados en diferentes misiones espaciales, entre ellas el telescopio espacial de rayos gama Fermi de la NASA en 2010, el Observatorio de rayos X Chandra también de la NASA en 2015 y en 2020 por el telescopio de rayos X eROSITA, una colaboración ruso-alemana.

El panel inferior muestra la imagen obtenida por esta última misión y en ella se pueden ver claramente el par de lóbulos (en amarillo) que sobresalen del núcleo galáctico. Éstos alcanzan una distancia superior a la que nosotros estamos del centro de la Galaxia.

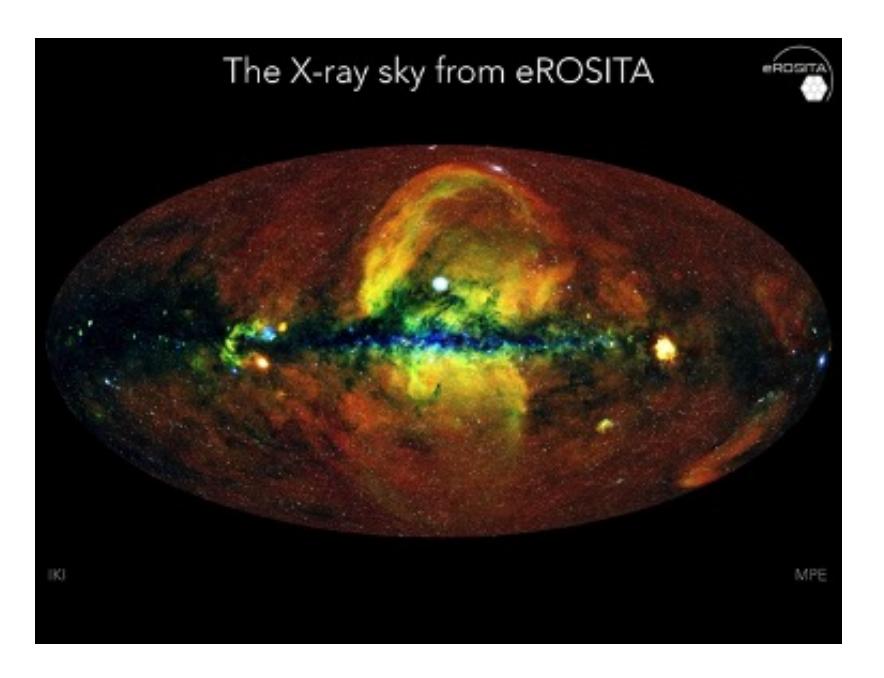


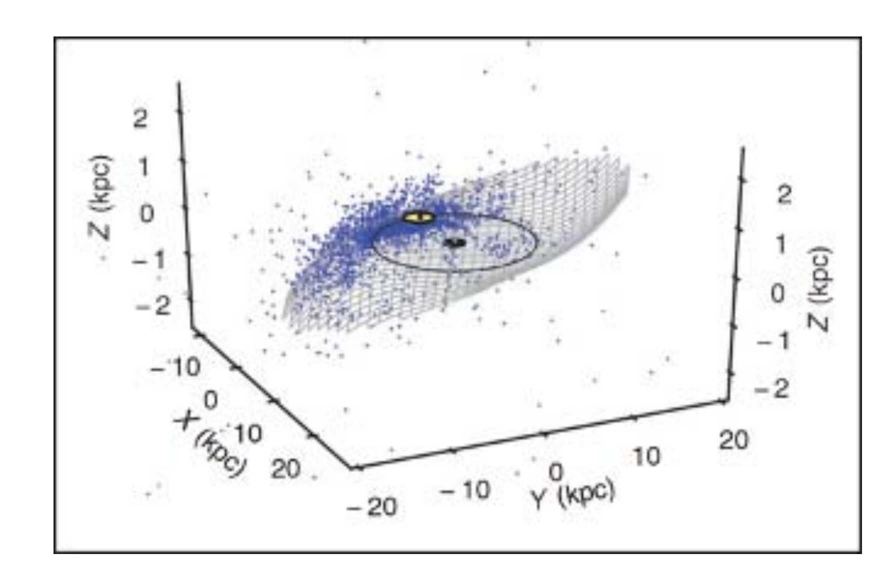
Imagen de la Vía Láctea en rayos X tomada por eROSITA.

Respecto a las dimensiones de nuestra Galaxia también se ha tenido una actualización reciente: En un estudio realizado por investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias y de la Academia China de Ciencias con el telescopio espectroscópico de fibra multiobjeto de gran área del cielo (LAMOST), se encontraron estrellas pertenecientes al disco galáctico más allá de los 50 mil años luz del centro galáctico, identificando algunas hasta los 100 mil años luz con un nivel de confiabilidad superior al 99%.

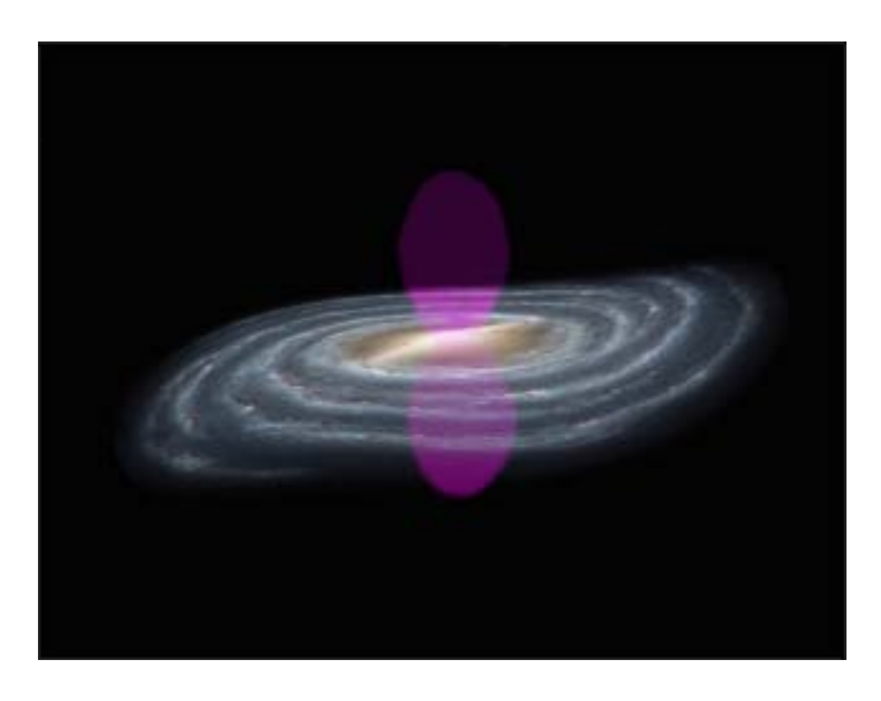
Estos investigadores han por tanto estimado el diámetro de la Galaxia en unos 200 mil años luz, el doble del valor anteriormente aceptado. Con ello se pone en duda que nuestra galaxia sea la segunda más grande del Grupo Local ya que queda prácticamente a la par de la galaxia de Andrómeda, pudiendo incluso superarla. En cuanto al número de estrellas en la Galaxia en este mismo trabajo se estima que existan entre 300 y 400 mil millones de ellas y que la masa total de la Galaxia ronda las $\sim 10^{12}\ M_{\odot}$.

Pero quizá el descubrimiento más sorprendente sea el de la no planitud del disco galáctico. Un estudio publicado en 2019 por un grupo de investigadores polacos, usando estrellas cefeidas, mapeó en tres dimensiones la Galaxia encontrando que el disco galáctico está curvado con simetría central. El disco galáctico cerca de nuestra zona se curva hacia el sur galáctico mientras que del lado contrario de la Galaxia lo hace hacia el norte (panel superior derecho). Se conocen muchos ejemplos de galaxias con formas similares; entre los más notables podemos citar a ESO510-13, UGC 3697 o NGC 3190. De hecho, se estima que ese fenómeno de deformación de los discos de las galaxias espirales puede ser tan común como un 50%.

Así que la imagen actual a gran escala de la Galaxia es la de una espiral barrada con un disco de unos 200 mil años luz de diámetro, con entre 300 y 400 mil millones de estrellas, con enormes lóbulos de radiación ionizante que salen de su núcleo y un disco que se tuerce en sus lados opuestos en direcciones contrarias (panel inferior derecho), al estilo de ciertos sombreros cuya copa desciende por un lado y se levanta por el lado contrario.



Mapeo en 3 dimensiones de la Vía Láctea en el que se aprecia un torcimiento del disco. El punto negro encerrado en el círculo amarillo representa la posición del Sistema Solar en la Galaxia.



Esquema del aspecto de la Vía Láctea vista de perfil realizado por el autor a partir de: http://www.spitzer.caltech.edu/images/1923-ssc2008-10a-A-Roadmap-to-the-Milky-Way

ONDAS GRAVITACIONALES

M.CS. ALEJANDRO CASALLAS / CUCEI-UDG

Históricamente la gravitación newtoniana ha sido la teoría predominante en relación con la forma de describir la interacción entre objetos masivos.

Esta teoría formulada por Sir Isaac Newton en 1687 ha demostrado ser muy eficiente, pero en particular altamente efectiva a lo largo de los años. Usando los principios definidos por Newton las misiones espaciales que conocemos en la actualidad han sido diseñadas y puestas en marcha con un alto grado de fiabilidad. Desde el punto de vista físico esta teoría corresponde a una acción a distancia; es decir que el mecanismo físico a través del cual la fuerza gravitatoria actúa, es instantáneo.

Esto último implica que la velocidad de propagación de la gravitación newtoniana es infinita, y por lo tanto, no detectable.

Por otro lado, Newton en los principios matemáticos de filosofía natural (conocidos como los "Principia de Newton") expresa que el espacio físico en el cual se desarrollan las interacciones de la naturaleza es rígido, inmutable y externo a los observadores, lo cual se denominó espacio absoluto. Estas dos consideraciones (la acción a distancia y el espacio absoluto) introducen una zona gris en el planteamiento teórico del modelo de la gravitación newtoniana ya que imponen importantes restricciones en el contexto experimental. Solo hasta comienzos del siglo XX con la publicación de la teoría general de la relatividad (1916) surgió un modelo alternativo para entender los fenómenos gravitatorios abandonando la idea de espacio-tiempo absoluto y acción a distancia, que pueden ser considerados los principales factores en contra del proyecto newtoniano.

Desde su nacimiento la teoría general de la relatividad propuesta por Albert Einstein ha suscitado descubrimientos que nos han permitido entender fenómenos que desde el punto de vista newtoniano habrían sido imposibles de justificar con precisión (como la desviación del perihelio de Mercurio). La introducción de un espacio-tiempo físico dotado con propiedades elásticas, susceptible de ser deformado de acuerdo con la distribución de materia ubicada en su vecindad (a diferencia del más rígido espacio-tiempo newtoniano) originó cambios sustanciales en la forma de entender la naturaleza. Einstein se inspiró en la teoría electromagnética de James Clerk Maxwell (1860) usando el hecho que los cambios electromagnéticos se propagan con velocidad finita a través del espacio.

A inicios del siglo XIX la teoría de campo se encontraba bajo escrutinio, pues los campos corresponden a entidades físicas inmateriales, lo cual representó una coyuntura novedosa en aquel tiempo. Una de las predicciones más interesantes y a la vez controversiales que se infieren de la nueva concepción del espacio-tiempo relativista, está centrada en la producción de ondas gravitacionales.

Este tipo de ondas pueden describirse como perturbaciones del espacio-tiempo mismo, inducidas por sus propiedades elásticas, producidas por eventos astronómicos de gran escala (panel inferior) y cuya detección resulta uno de los problemas más complejos e interesantes de la física contemporánea.

Desde el punto de vista experimental la amplitud de una onda gravitacional se define a partir de la interacción radiación/materia. Si consideramos, por ejemplo, un anillo de un metro de diámetro rodeado de partículas, el diámetro cambiará como consecuencia de la interacción de las masas con la onda incidente. La deformación del anillo producida por la onda gravitacional es interpretada como la amplitud de la onda. Este cambio en el diámetro del anillo es equivalente a una millonésima parte del diámetro de un protón (del orden de ~10^{-21}m), lo cual hace que la detección sea extremadamente difícil pues la sensibilidad que los recursos experimentales deben alcanzar es altísima. A mediados de los años sesenta Josheph Weber (1965) en los laboratorios de la universidad de Maryland efectuó uno de los primeros intentos registrados para la medición de ondas gravitacionales. Para cumplir este fin, Weber ideó un montaje experimental basado en barras resonantes. Una pieza de metal cilíndrico (aluminio, de un metro de diámetro y más de tres toneladas de peso) la cual serviría como caja de resonancia una vez las ondas gravitacionales incidieran sobre ella. A pesar de los esfuerzos de Weber ninguna de las variantes que introdujo en su montaje experimental a lo largo de tres décadas le permitió evidenciar una detección de ondas gravitacionales. El problema continuaba abierto, y a pesar de contar con una formulación matemática que soporta las ondas gravitacionales, llamada teoría linealizada desarrollada por el mismo Einstein en 1917, se dudaba abiertamente de la existencia de este tipo de fenómeno.

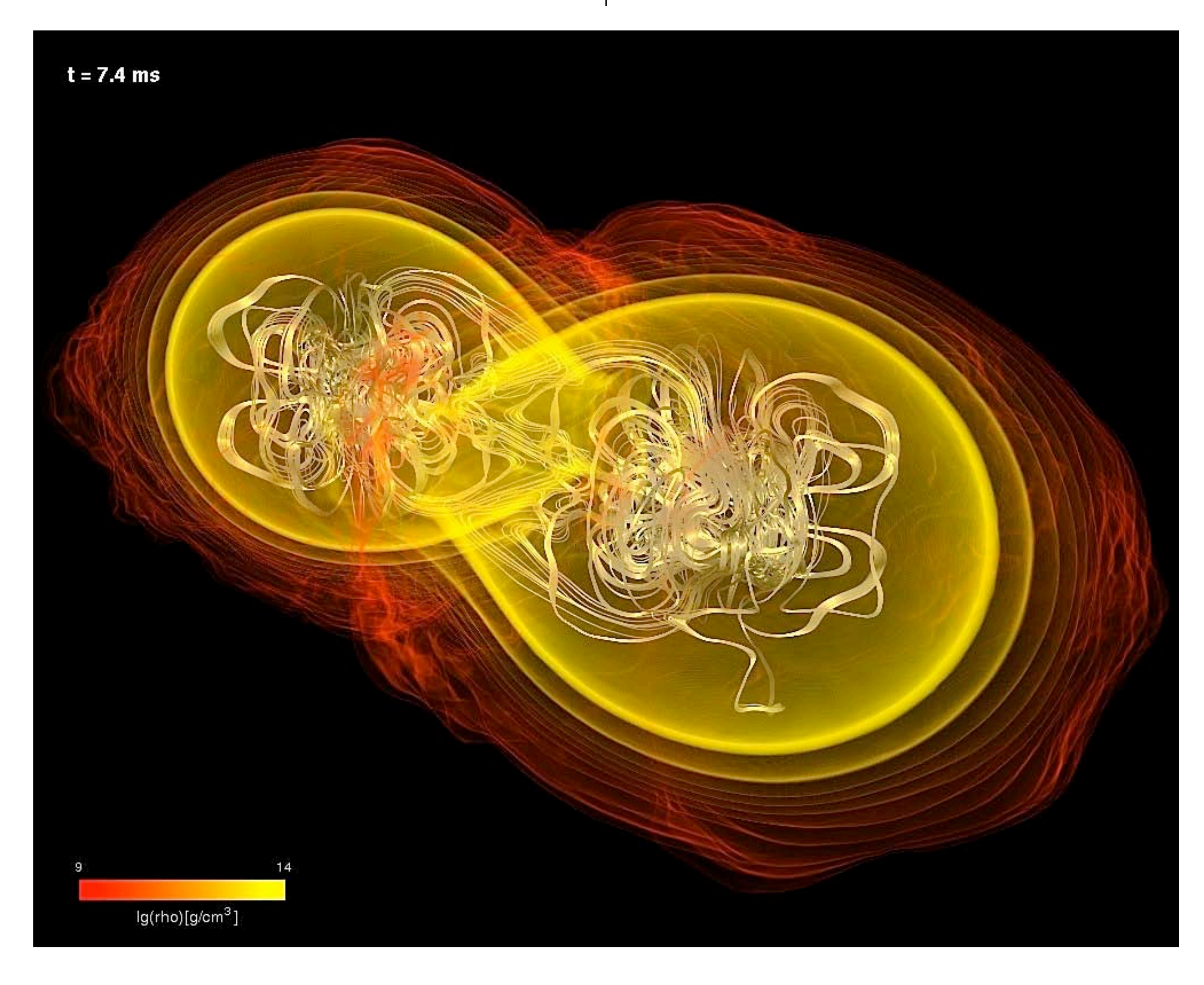
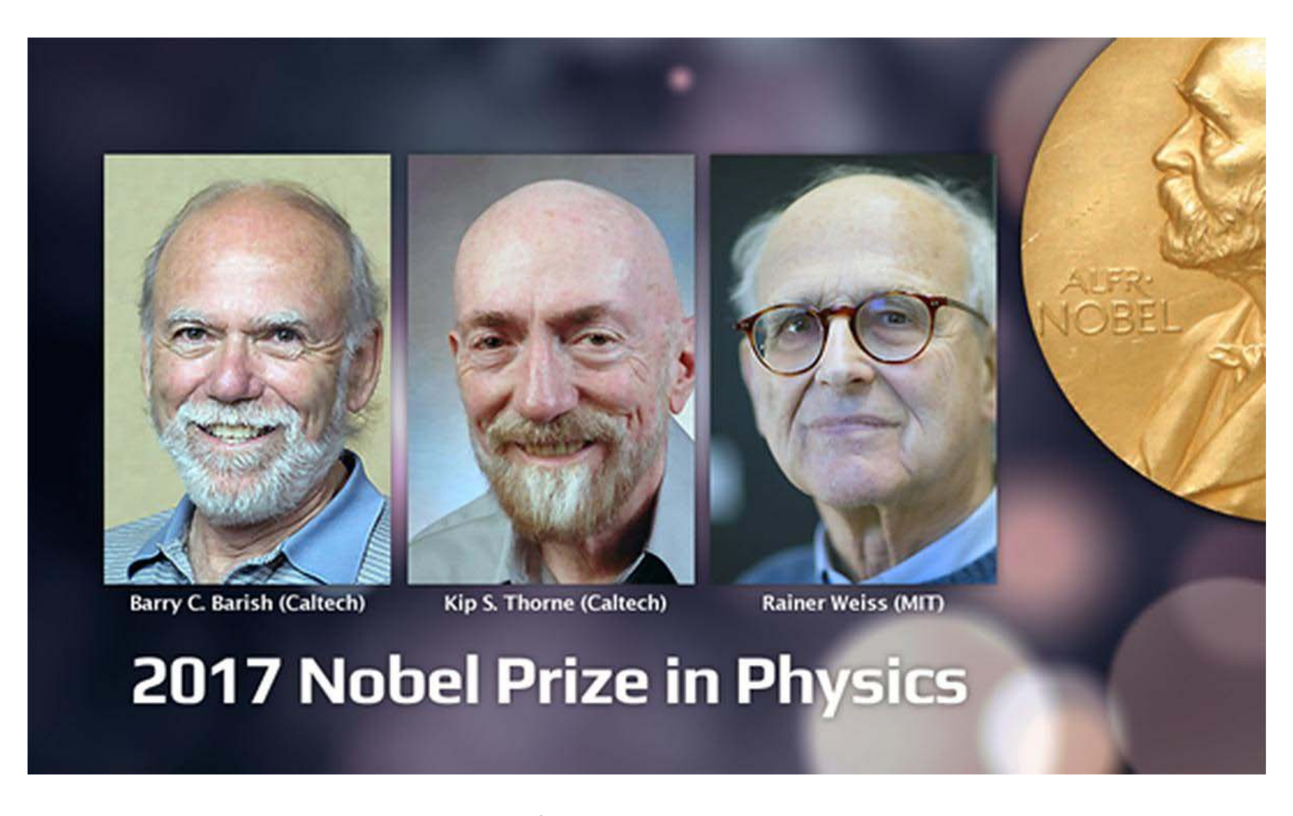


Ilustración de la interacción de un sistema binario, (https://www.ligo.caltech.edu). Los sistemas binarios corresponden a dos masas estelares que orbitan respecto a un punto común. La imagen muestra la etapa denominada *inspiral* donde las masas orbitan una respecto a la otra mientras la distancia entre ellas disminuye con el tiempo. La etapa inspiral produce ondas gravitacionales que han estudiado hasta la fecha y cuya detección se ha confirmado en varias oportunidades por los interferómetros LIGO y Virgo.

En 1970 Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip S. Thorne (panel inferior) proponen un novedoso montaje experimental para la detección de ondas gravitacionales usando interferometría (un fenómeno ondulatorio que permite sumar ondas individuales y estudiar sus combinación o patrones de interferencia, constructiva o destructiva). Si bien en los primeros años de implementación de los interferómetros no se obtuvieron detecciones de ondas gravitacionales, si lograron atraer la atención de la comunidad científica hacia este fenómeno, y como consecuencia a finales de los años ochenta una serie de interferómetros fueron fundados a lo largo del globo: Laser Interferometric Gravitational waves Observatory (LIGO) - USA; GEO600 - Alemania; Virgo - Italia y Kamioka Gravitational Wave Detector (KAGRA) también conocido como Large Scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope (LCGT) - Japón. Justo cuando las expectativas de mantener el estudio de ondas gravitacionales cesaba (debido a la falta de evidencia experimental directa), en 1974 Russell Hulse y Joseph Taylor de la universidad de Princeton descubrieron al estudiar el sistema binario (PS1913+16) compuesto por una estrella de neutrones y un púlsar ubicado a 6.400 pársec de distancia de la Tierra (denominado el pulsar de Hulse-Taylor), un decaimiento progresivo en su órbita, lo cual se explica desde la teoría de Einstein debido a la emisión de ondas gravitacionales en el proceso. Esta evidencia indirecta de la existencia de las ondas gravitacionales condujo a Hulse y Taylor a ser distinguidos con el premio nobel de física en 1993.

Este descubrimiento sirvió como detonante para acelerar las investigaciones, los modelos de detección y los montajes experimentales dedicados a medir ondas gravitacionales. Con el desarrollo tecnológico, técnico y científico las mejoras no se hicieron esperar, y aunque no fueron inmediatas llevaron a la construcción de la colaboración LIGO.

Este es el mayor montaje experimental enfocado a la detección de ondas gravitacionales alguna vez construido, y que para el año 2015 funcionaba a través de un interferómetro láser de dos brazos de cuatro kilómetros de largo cada uno dotado con la sensibilidad suficiente para acceder a mediciones de señales cuya intensidad es comparable con el diámetro de un protón.



Los ganadores del nobel de física 2017 Barry C. Barish, Kip S. Thorne y Rainer Weiss respectivamente (https://www.ligo.caltech.edu).

El 14 de septiembre del año 2015 la colaboración LIGO publicó el primer evento de detección de ondas gravitacionales producida por la fusión de dos agujeros negros, el evento denominado GW150914 marcó el inicio de una nueva era en el escenario científico mundial. Posteriormente en el año 2017 los investigadores Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip S. Thorne quienes impulsaron la creación de la colaboración LIGO recibieron el premio nobel de física por su aporte en la implementación de la interferometría láser en la detección de ondas gravitacionales.

Impresionantes hallazgos han sido atribuidos a LIGO y Virgo, uno de ellos el evento GW190521 (ocurrido el 21 de mayo de 2019) que según los cálculos, correspondería a la fusión de dos agujeros negros de 66 y 85 masas solares que dieron origen a un agujero negro de 150 masas solares. Se trata de un evento sin precedentes y que prueba la calidad técnica de los interferómetros así como su alcance. Gracias a los esfuerzos técnicos, académicos y económicos impulsados por la academia en los últimos cincuenta años la ciencia ha logrado acceder a un conocimiento más completo y a establecer una imagen más acertada del Universo. En los años venideros se esperan nuevos avances y resultados en esta área, y al igual que lo hicieron sus impulsores a comienzos del siglo pasado que logren que las miradas se posen sobre los inesperados y majestuosos resultados que están por ser develados.



A la izquierda el Interferómetro LIGO L1 ubicado en Livingston Luisiana - USA, que es uno de los dos interferómetros que conforman el montaje experimental LIGO. El segundo, denominado H1 está ubicado en Hanford - Washington USA. Sus características técnicas son idénticas, corresponden a interferómetros laser de dos brazos cuya longitud alcanza los cuatro kilómetros de extensión. A La derecha el interferómetro europeo Virgo ubicado en Italia (https://www.ligo.caltech.edu).

GALAXIAS Y EL UNIVERSO A BAJO BRILLO

DR. SIMON KEMP / CUCEI-UDG

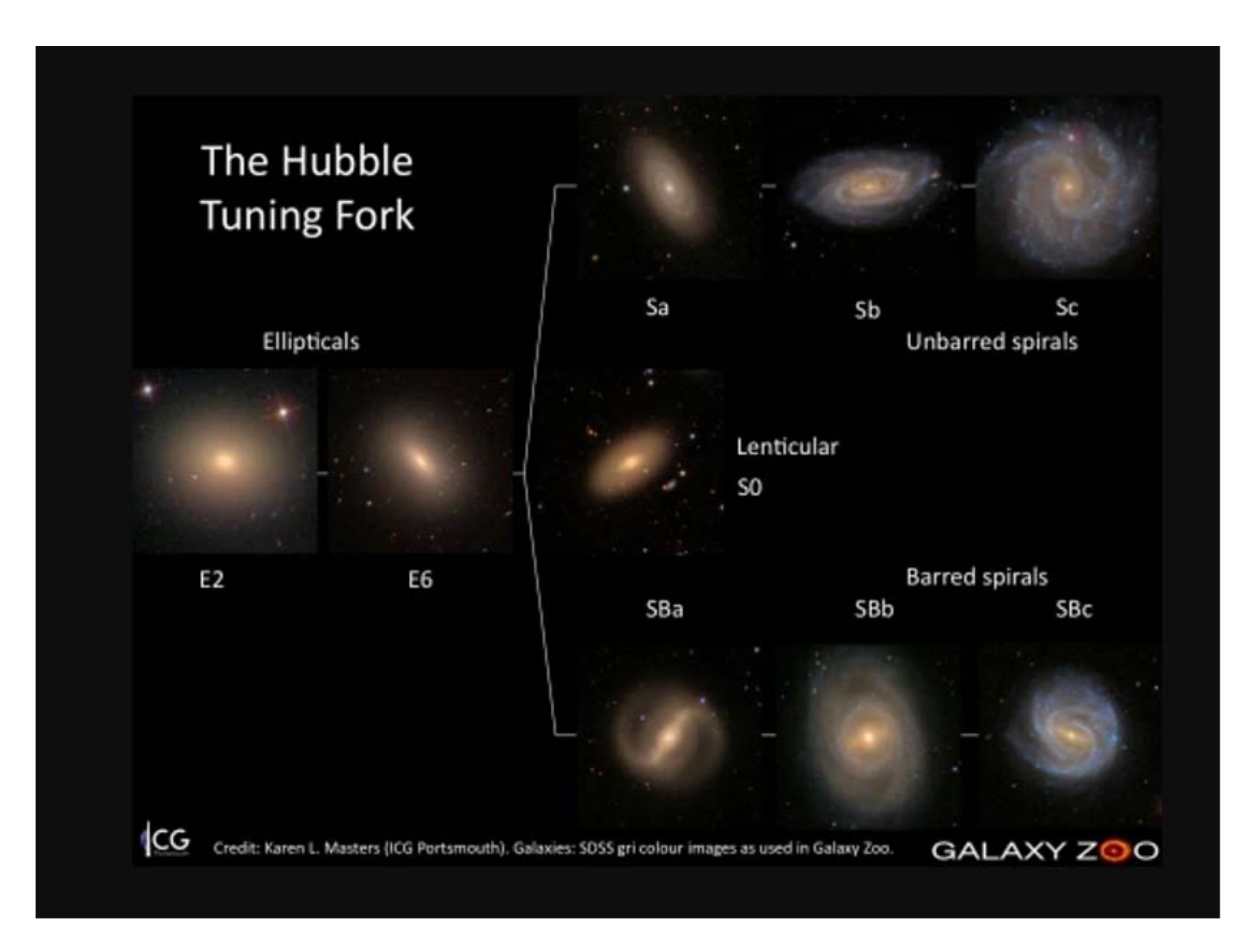
Las galaxias son objetos astronómicos que contienen alrededor de 100000000000 estrellas, es decir cien mil millones de estrellas o 10^{11} estrellas. Hay diferentes tipos de galaxias que son descritos morfológicamente, como espirales (que contiene disco, bulbo y brazos espirales), lenticulares (bulbo y disco pero no tienen brazos, forma como ´lente' o 'lenteja') y elípticas (que son de forma elíptica con rasgos especiales). También hay galaxias irregulares que no entran en las otras categorías y son asimétricas. Estas incluyen las galaxias interactúantes que describiremos más adelante.

Existen solas como galaxias de campo o en grupos/cúmulos. Un grupo tiene cerca de 50 galaxias, como el Grupo Local que incluye la Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda (M31) además de los 'satélites' de estas grandes galaxias espirales. Mientras un cúmulo es más grande y puede tener más de mil galaxias, como el Cúmulo de Virgo, que es el más cercano de los cúmulos (pero a una distancia de ~ 60 millones de años luz!).

Con tantas estrellas es de suponer que son sistemas de muy alta luminosidad y si son similares a la luminosidad típica de una estrella como la del Sol, entonces también pueden tener 10^{10} o 10^{11} veces la luminosidad solar. Pero también son objetos muy lejanos y de gran tamaño, por lo que son objetos difusos y el flujo de luz que recibimos de ellos es bajo y no está concentrado en un punto como una estrella, así en general son objetos relativamente débiles en nuestros cielos. Solo hay una galaxia, Andrómeda, que es visible a simple vista en cielos sin contaminación de luces artificiales o la Luna, y si vemos la mayoría de las galaxias relativamente brillantes por el ocular de un telescopio solo vemos las partes más centrales, cerca del núcleo, como un objeto difuso. Estas partes centrales son las únicas características más brillantes que el fondo del cielo mismo, y para estudiar toda la estructura de una galaxia necesitamos llegar a partes que tienen solo 1% del brillo del cielo (es decir, de cada 101 fotones llegando al detector del telescopio, 100 son del cielo y solo 1 de la galaxia!).

Las imágenes de las galaxias se ven espectaculares, llenas de detalles en su estructura y muy fotogénicas, pero estos son los resultados de combinar varias exposiciones largas y de diferentes filtros, y usar procesos de tratamiento de imágenes digitales para poner un color artificial. En nuestros proyectos de investigación estudiamos esta materia débil alrededor de galaxias usando telescopios de 1-2m. Típicamente combinamos muchas imágenes creando una exposición total de varias horas.

Es común durar varias horas/noches para obtener buenos datos de una sola galaxia, de tal manera que sólo podemos observar algunas en una típica temporada de observaciones de unos días. Entonces ¿cómo elegimos los objetos de interés? Existen varios catálogos de objetos e imágenes de todo el cielo con una exposición profunda. Aquí mencionamos un par de estos con importancia histórica.



Diapasón de Hubble mostrando los diferentes tipos de galaxia (Karen Masters, Galaxy Zoo).

EL CATALOGO MESSIER

Compilado por un francés, Charles Messier durante el siglo XVII mientras buscaba cometas en el cielo, logró conjuntar un catálogo de cerca de 110 objetos que parecían difusos como cometas pero que no se desplazaban en el cielo, por lo que eran más distantes. Incluye cúmulos de estrellas abiertos y globulares, nebulosas de formación estelar, nebulosas planetarias y cerca de 30 de las galaxias más cercanas y brillantes en el cielo. Era el primer catálogo de objetos difusos de tipo “nebulosa”. Ahora claro, hay muchos más catálogos con muchos más objetos, incluyendo el siguiente.

ATLAS DE CIELO DE PLACAS SCHMIDT

Las imágenes se obtenían con telescopios de campo de visión grande de diseño Schmidt en los 1980s. Consiste de unas 380 placas de campo 5 grados x 5 grados cubriendo todo el cielo entero, con tiempo de exposición de aproximadamente 1 hora. Este tiempo es suficiente para ver detalles de la estructura externa de las galaxias incluyendo regiones de emisión débil, filamentaria o difusa, alrededor de ellas; así es ideal para buscar galaxias candidatas para nuestro tipo de estudio. Ahora existen más catálogos de objetos en atlas de todo o casi todo el cielo, como el Sloan Digital Sky Survey (SDSS).

La materia débil cerca de galaxias existe en 4 formas: como un halo grande; como filamentos, puentes y colas de galaxias; como un medio intergaláctico difuso y como galaxias de bajo brillo.

HALOS GRANDES (GALAXIAS cD)

Las galaxias cD son galaxias supergigantes, que además de una galaxia elíptica gigante en su centro tiene un halo o envolvente enorme de luz débil alrededor de ésta, mostrándose como un halo gris y difuso en las placas Schmidt originales.

Estos envolventes pueden tener dimensiones de varios cientos de Kilo-pársec hasta 1 Mega-pársec (o entre 300000 y 3 millones de años luz), encontrándose entre las galaxias más grandes en el Universo. Todavía no está claro si estos objetos fueron formados así de grandes en una época primordial del Universo o si han ido acumulado sus envolventes a lo largo de la edad del Universo, despojando estrellas de otras galaxias vecinas o 'comiendo' galaxias vecinas por completo en fusiones en el 'canibalismo galáctico'. Estas galaxias normalmente están en o cerca al centro de sus cúmulos y la forma del envolvente (elipticidad y orientación) puede ser parecida a la distribución de galaxias en el cúmulo. A veces en estos cúmulos hay una concentración enorme de gas caliente (100 millones de grados Kelvin o Centígrados) emitiendo en rayos-X. La masa total de este gas es tan grande que representa tanta materia como la que existe en todas las estrellas de todas las galaxias del cúmulo. Aun así ni las estrellas ni este gas son el componente principal de materia en estas galaxias. La evidencia observacional indica que la materia oscura domina aunque aún no sabemos de qué está compuesta. Hay teorías que mencionan que parte de este gas puede enfriarse y empezar a caer hasta el centro de su cúmulo, es decir caer sobre la galaxia cD en el centro, y si enfría lo suficiente puede formar estrellas en los llamados 'flujos de enfriamiento'. Este es uno de los posibles mecanismos para la formación del envolvente aunque no puede ser el único porque no todos los cúmulos tienen emisión de gas en rayos X. Probablemente en algunos cúmulos todos los métodos (origen primordial, despojos, fusiones, flujos de enfriamiento) juegan su papel.

FILAMENTOS ALREDEDOR DE GALAXIAS INTERACTUANTES

Como vimos, muchas galaxias están muy cerca a otras en los grupos y cúmulos de galaxias y el campo gravitacional de una puede llegar a afectar la otra. Las dos galaxias pueden interactuar y luego fusionarse. Aunque este proceso dura un tiempo de al menos mil millones de años, podemos simularlo en computadoras de alta potencia usando 'partículas' para representar las estrellas y calculando todas las fuerzas en cada 'partícula'. En estas interacciones las estrellas no chocan con otras estrellas porque tienen separaciones enormes relativo a sus tamaños, pero el campo gravitacional adicional de la galaxia muy cercana desvía las órbitas de las estrellas y crea un producto de fusión que tiene una forma diferente, normalmente una galaxia elíptica con las estrellas desviadas moviéndose en direcciones aleatorias.

El producto de la fusión normalmente tendrá varios rasgos de tipo filamentario, hechos de estrellas, que pueden estar formando un puente entre las galaxias, o una cola de marea, u otra materia de forma de arco o filamento. Estos filamentos pueden sobrevivir por varios miles de millones de años, y resultan en algunas de las imágenes astronómicas más espectaculares. Eventualmente pueden caer de nuevo y las estrellas formarán parte del cuerpo principal de la galaxia, o pueden dispersarse en el espacio.



Algunos objetos del catálogo de Messier, incluyendo unas galaxias (NASA).

MEDIO INTERGALÁCTICO

Existen estrellas entre las galaxias en un cúmulo, que consisten de estrellas expulsadas de sus galaxias originales por interacciones gravitacionales como ya comentamos. También se han detectado otros tipos de objetos fuera de galaxias en cúmulos como las nebulosas planetarias. No se sabe si hay nubes de gas suficientemente densas como para formar estrellas fuera de las galaxias aunque imaginamos que son muy escasas. Este medio es de relativamente baja densidad comparado a la enorme cantidad de masa de gas caliente que emite en rayos-X en cúmulos de galaxias. Pero se ha detectado en exposiciones grandes y/o en campos grandes cubriendo cúmulos de galaxias como por ejemplo en el Cúmulo de Virgo.

En la vecindad del famoso grupo de galaxias conocido como Quinteto de Stephan, hay muchas regiones de emisión débil. Diferentes regiones de emisión están a diferentes distancias y probablemente muy poco material está conectado directamente con el Quinteto.

GALAXIAS DE BAJO BRILLO

El otro candidato para materia de bajo brillo asociada con galaxias son las galaxias mismas. Hay unas galaxias que no llegan a tener mucha formación estelar. Es posible que tengan mucho gas pero nunca en suficientes concentraciones o densidades de gas para comenzar con la formación estelar. Hay unas galaxias de este tipo que tiene enormes discos de gas, por ejemplo Malin I tiene un tamaño de 650000 años luz (200 Kilo-pársec o 6 veces el tamaño de la Vía Láctea) pero nunca ha tenido mucha formación estelar. Entonces su disco es de muy bajo brillo en la banda visible, aunque sí tiene un bulbo visible en el centro. Hay cúmulos con una gran población de este tipo de objetos, aunque la mayoría no son de estos diámetros extremos. En el Cúmulo de Virgo existen unos 500 objetos de este tipo catalogados.

Entre todos estos tipos de objetos existe una gran variedad de ellos muy interesantes para estudiar e investigar con el detalle suficiente, y la única desventaja es que se requiere de paciencia para obtener los tiempos de exposición necesarios que permitan conseguir una buena imagen.



Izquierda. El par de galaxias interactuantes Arp 273 (NASA/ESA HST). ***Derecha.*** El campo alrededor del Quinteto de Stephan (grupo de galaxias cerca del pie de la imagen, a la derecha del centro), y NGC 7331 (galaxia cerca de borde superior de la imagen, a la izquierda del centro, que muestra mucha emisión débil. (CFHT, Pierre-Alain Duc (Observatoire de Strasbourg) & Jean-Charles Cuillandre (CEA Saclay/Obs. De Paris)).



NGC 1365

Imagen, credito y licencia: Mike Selby, Leonardo Orazi

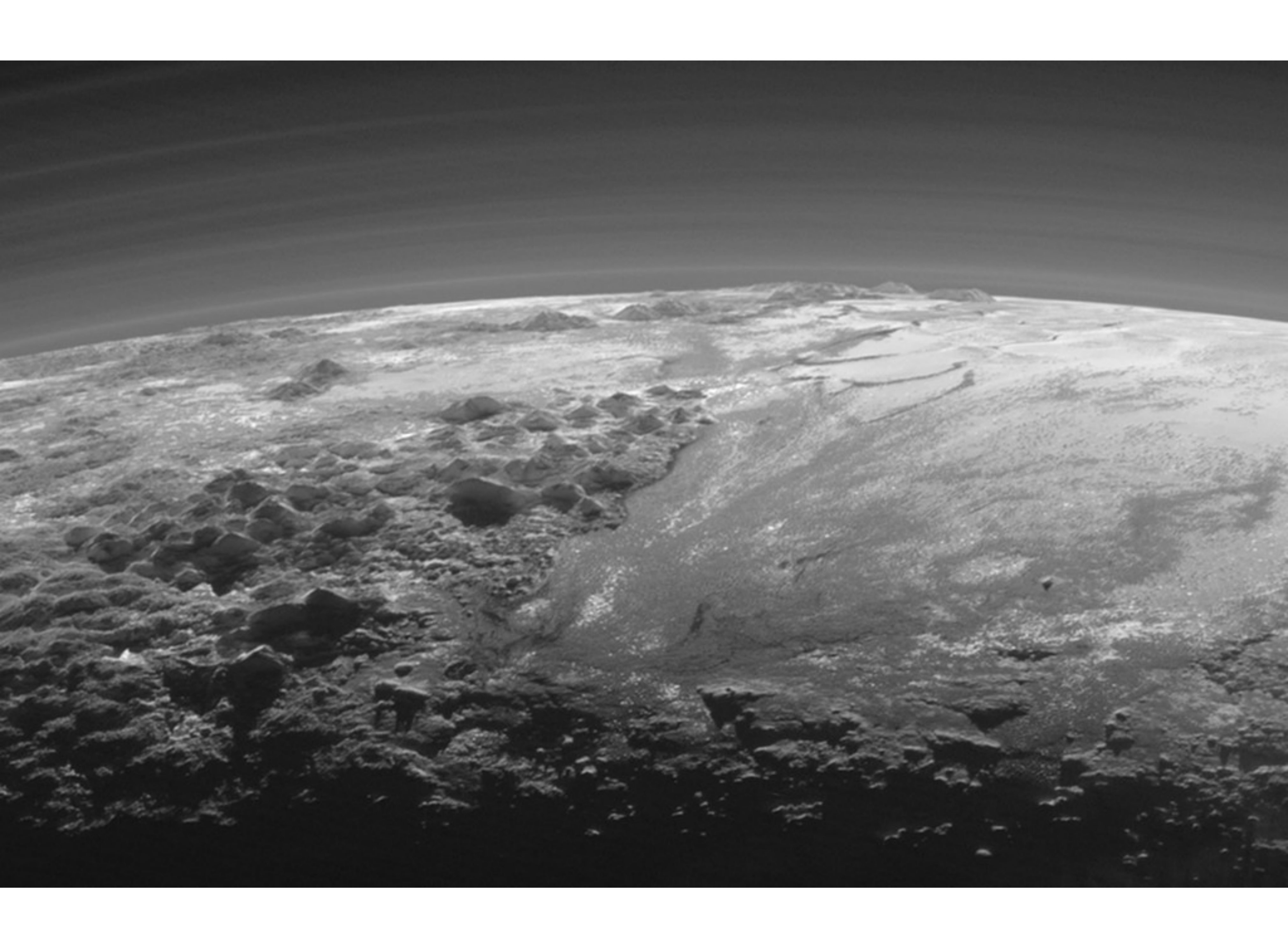
La galaxia espiral barrada NGC 1365 es verdaderamente un majestuoso universo insular de unos 200.000 años luz de diámetro. Ubicada a solo 60 millones de años luz de distancia hacia la constelación Fornax, NGC 1365 es un miembro dominante del bien estudiado Cúmulo de galaxias Fornax. Esta imagen en color impresionantemente nítida muestra las regiones de formación de estrellas rojizas e intensas cerca de los extremos de la barra central y a lo largo de los brazos espirales, con detalles de las oscuras líneas de polvo que atraviesan el núcleo brillante de la galaxia. En el núcleo se encuentra un agujero negro supermasivo. Los astrónomos piensan que la barra prominente de NGC 1365 juega un papel crucial en la evolución de la galaxia, atrayendo gas y polvo hacia una vorágine de formación de estrellas y finalmente alimentando material al agujero negro central.



Cluster R136

Imagen, credito y licencia: NASA, ESA, & F. Paresce (INAF-IASF), R. O'Connell (U. Virginia) et al.

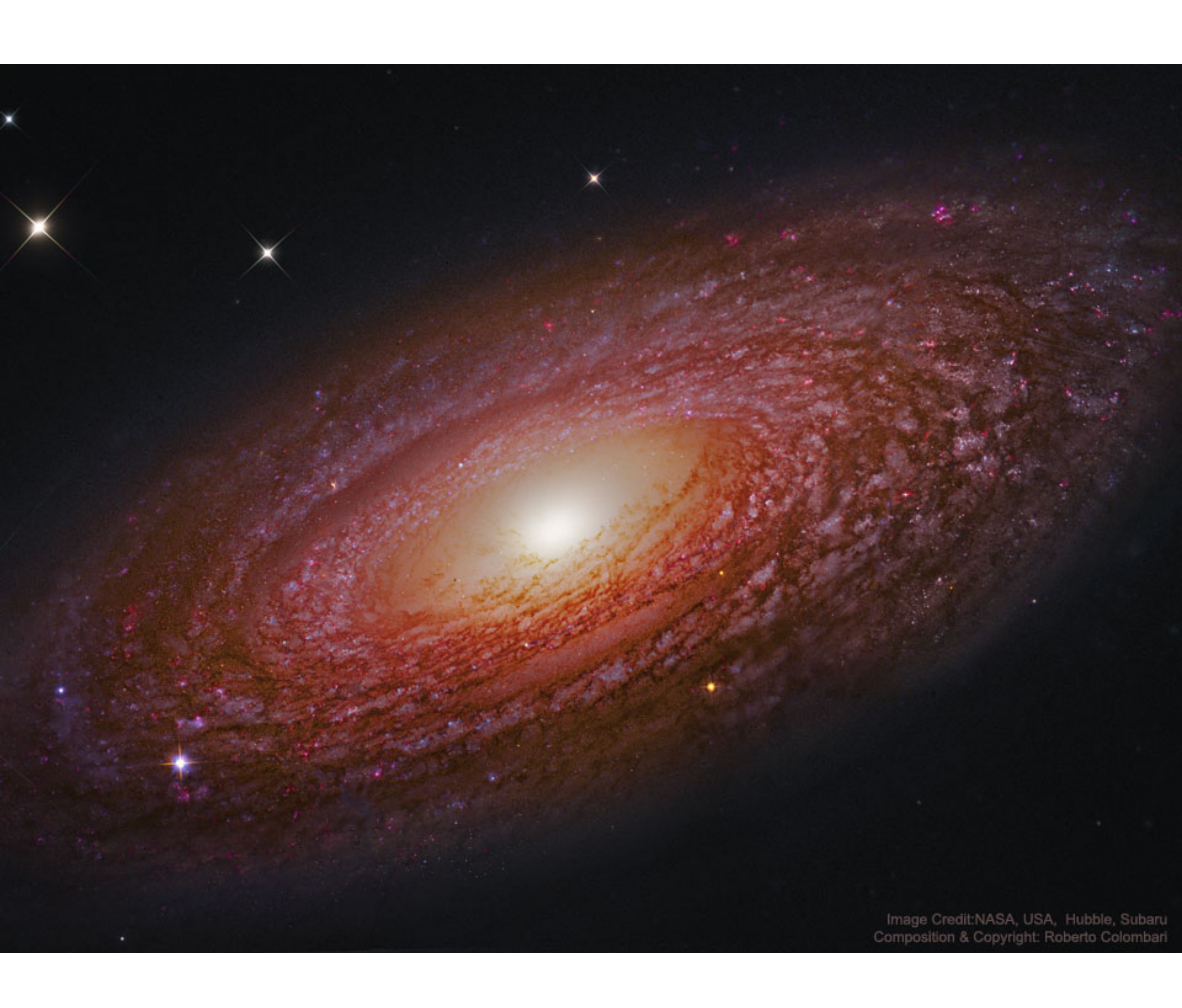
En el centro de la cercana región de formación de estrellas se encuentra un enorme cúmulo que contiene algunas de las estrellas más grandes, calientes y masivas conocidas. Estas estrellas, conocidas colectivamente como cúmulo estelar R136, parte de la Nebulosa de la Tarántula, fueron capturadas en la imagen presentada en luz visible en 2009 a través del Telescopio Espacial Hubble. Las nubes de gas y polvo en la Nebulosa de la Tarántula han sido esculpidas en formas alargadas por los poderosos vientos y la radiación ultravioleta de estos cúmulos de estrellas calientes. La Nebulosa de la Tarántula se encuentra dentro de una galaxia vecina conocida como la Gran Nube de Magallanes y se encuentra a solo 170.000 años luz de distancia.



Paisaje Plutoniano

Imagen, credito y licencia: NASA, Johns Hopkins Univ./APL, Southwest Research Institute

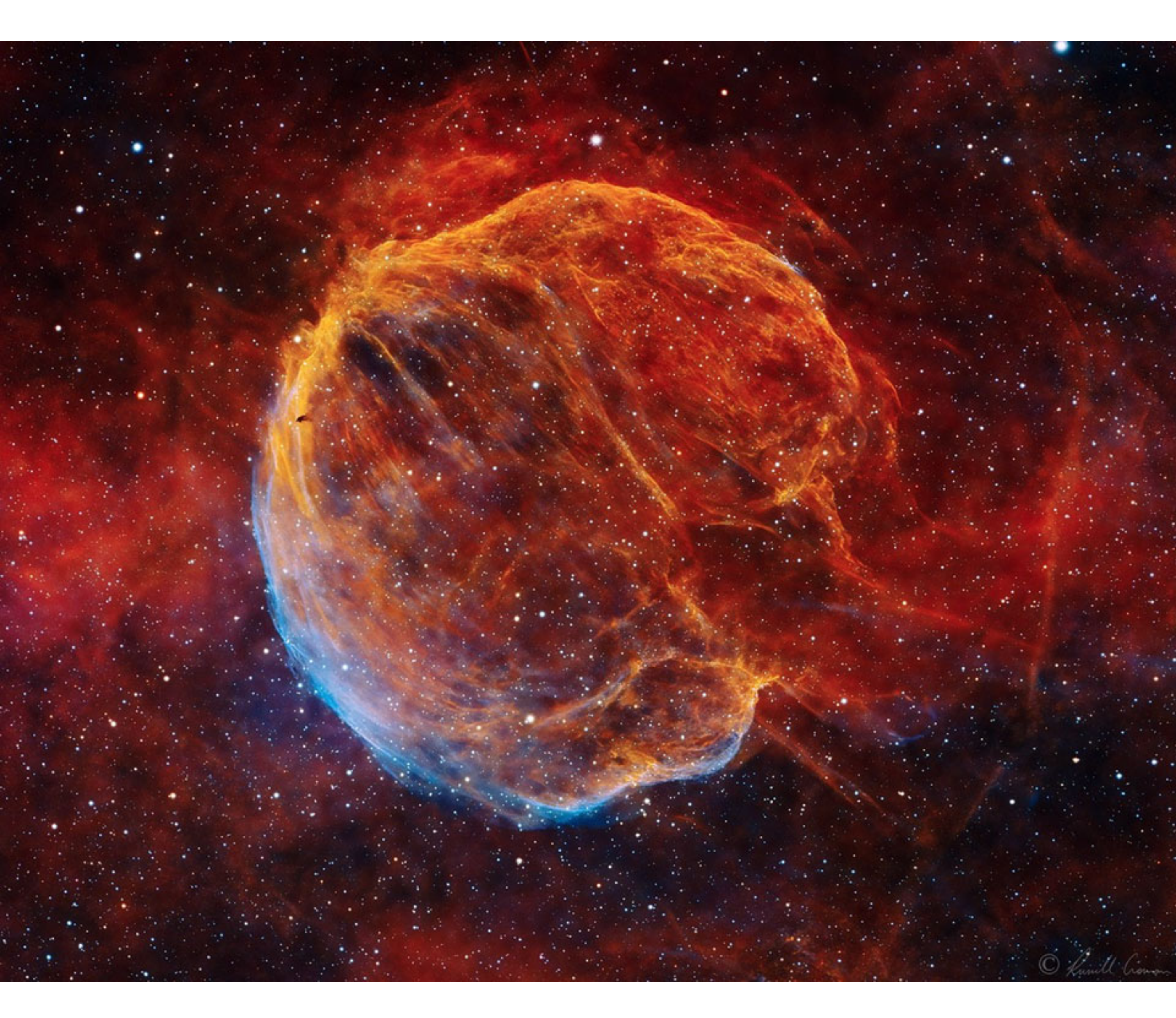
Este paisaje sombrío de majestuosas montañas y llanuras heladas se extiende hacia el horizonte en un mundo pequeño y distante. Fue capturado desde un rango de aproximadamente 18.000 kilómetros cuando New Horizons miró hacia Plutón, el 14 de julio de 2015. La dramática escena de ángulo bajo y casi del crepúsculo sigue a las escarpadas montañas formalmente conocidas como Norgay Montes. desde el primer plano a la izquierda, y Hillary Montes a lo largo del horizonte, dando paso al suave Sputnik Planum a la derecha. Las capas de la tenue atmósfera de Plutón también se revelan en la vista retroiluminada. Con una apariencia extrañamente familiar, el terreno gélido probablemente incluye hielos de nitrógeno y monóxido de carbono con montañas de hielo de agua que se elevan hasta 3.500 metros (11.000 pies). Eso es comparable en altura a las majestuosas montañas del planeta Tierra. El paisaje plutoniano tiene 380 kilómetros (230 millas) de ancho.



NGC 2841

Imagen, credito y licencia: NASA, ESA, Hubble, Subaru; Composition & Copyright: Roberto Colombari

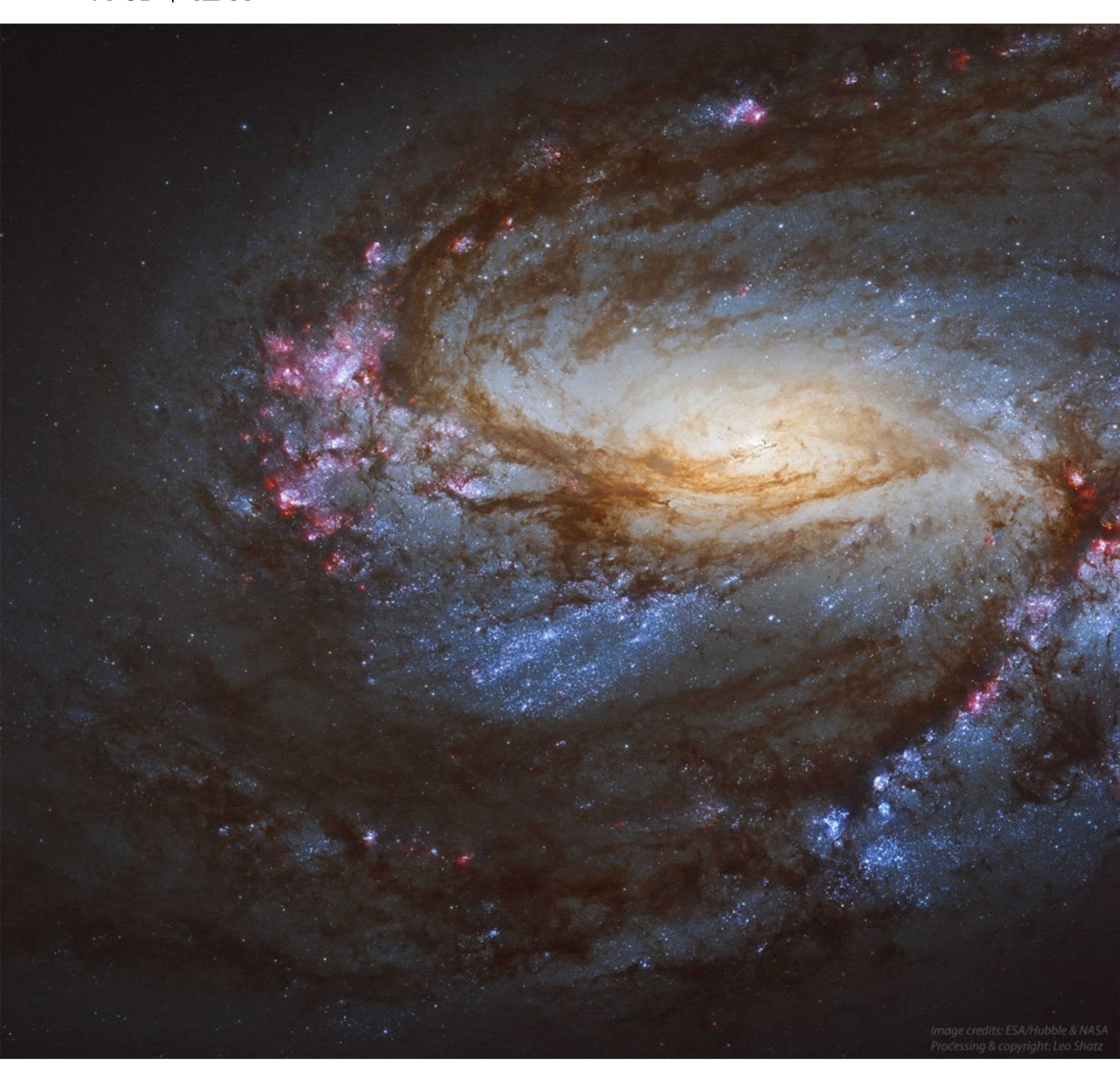
Es una de las galaxias más masivas conocidas. A solo 46 millones de años luz de distancia, la galaxia espiral NGC 2841 se puede encontrar en la constelación de la Osa Mayor. Esta vista nítida muestra un sorprendente núcleo amarillo y un disco galáctico. Las líneas de polvo, las pequeñas regiones de formación de estrellas rosadas y los cúmulos de estrellas azules jóvenes están incrustados en los brazos espirales irregulares y apretados. En contraste, muchas otras espirales exhiben brazos grandes y amplios con grandes regiones de formación de estrellas. NGC 2841 tiene un diámetro de más de 150.000 años luz, incluso más grande que nuestra propia Vía Láctea. La imagen compuesta presentada fusiona exposiciones del Telescopio Espacial Hubble de 2.4 metros en órbita y el Telescopio Subaru de 8.2 metros con base en Tierra. Las imágenes de rayos X sugieren que los vientos resultantes y las explosiones estelares crean columnas de gas caliente que se extienden en un halo alrededor de NGC 2841.



Nebulosa Abell 85

Imagen, credito y licencia: Russell Croman

¿Qué impulsa esta inusual nebulosa? Abell 85, también conocida como CTB-1 es la capa de gas en expansión que quedó cuando una estrella masiva hacia la constelación de Cassiopeia explotó hace unos 10.000 años. La estrella probablemente detonó cuando se quedó sin elementos, cerca de su núcleo, que podrían crear una presión estabilizadora con la fusión nuclear. El remanente de supernova resultante, aún brilla en luz visible por el calor generado por su colisión con el gas interestelar confinado. Sin embargo, sigue siendo un misterio por qué la nebulosa también brilla con rayos X. Una hipótesis sostiene que se co-creó un púlsar energético que impulsa la nebulosa con un viento rápido que se mueve hacia afuera. Siguiendo esta pista, recientemente se ha encontrado un púlsar en ondas de radio que parece haber sido expulsado por la explosión de la supernova a más de 1000 kilómetros por segundo. Esta nebulosa es tan tenue que se necesitaron 130 horas de exposición con dos pequeños telescopios para obtener la imagen.



M66

Imagen, credito y licencia: NASA, ESA, Hubble, Janice Lee; *Processing & Copyright:* Leo Shatz; *Text:* Karen Masters

M66, una galaxia espiral con una pequeña barra central, es miembro del triplete de galaxias Leo, un grupo de tres galaxias a unos 30 millones de años luz de nosotros. El Triplete de Leo es un objetivo popular para telescopios relativamente pequeños, en parte porque M66 y sus compañeros galácticos M65 y NGC 3628 aparecen separados por aproximadamente el ancho angular de una luna llena. La imagen presentada de M66 fue tomada por Hubble para ayudar a investigar la conexión entre la formación de estrellas y las nubes de gas molecular. Claramente visibles son las estrellas azules brillantes, las nubes rosadas de hidrógeno ionizado, esparcidas a lo largo de los brazos espirales externos, y las líneas de polvo oscuro en las que podrían estar escondidas más formaciones estelares.